

## H<sup>+</sup> İONLARI (PROTONLAR) İLƏ ŞÜALANMANIN TlInS<sub>2</sub> <5% C> BİRLƏŞMƏSİNİN DIELEKTRİK NÜFUZLUĞUNA, İON VƏ ELEKTRON KEÇİRİCİLİYİNƏ, İMPEDANS SPEKTRLƏRİNƏ TƏSİRİ

O.Ə. SƏMƏDOV<sup>1</sup>, X.B. ORUCOVA<sup>1</sup>, N.M. MEHDİYEV<sup>1,3</sup>, A.İ. NƏCƏFOV<sup>2</sup>,  
R.N. MEHDİYEV<sup>1</sup>, S.F. SƏMƏDOV<sup>1</sup>, M.N. MİRZƏYEV<sup>1</sup>, T.İ. KƏRİMOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Radiasiya Problemləri İnstitutu

<sup>2</sup>Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, H.B. Abdullayev adına Fizika İnstitutu

<sup>3</sup>Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti  
[oktaysamedov9@gmail.com](mailto:oktaysamedov9@gmail.com)

150 keV enerjili protonlarla şüalanmış TlInS<sub>2</sub><5% C> birləşməsinin sabit elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmiş, onun ion və elektron payları, relaksasiya müddəti  $\tau$  və diffuziya əmsalı  $D$  təyin olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, protonlarla şüalanmadan sonra, uyğun olaraq keçiriciliyin elektron payı, relaksasiya müddəti azalır və keçiriciliyin ion payı, diffuziya əmsalının qiymətləri isə artır. Kompleks impedans spektrlərinin analizi göstərir ki, qodoqrafın aşağı tezlikli hissəsinə, elektrodyanı oblastda həcmi yüklərin polyarizasiyasını xarakterizə edən meyilli düz xətt uyğun gəlir, protonlarla şüalanmış halda qodoqraflar yüksək tezliklər oblastına doğru sürüşürlər. Həmçinin göstərilmişdir ki, TlInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsində H<sup>+</sup> ionlarının təsiri ilə meydana gələn vakansiyaların və geri təpmə atomların yaratdığı vakansiyaların dərinlikdə paylanması 980nm dərinlikdə maksimuma çataraq dərinliyin artması ilə azalır və 1500 nm dərinlikdən sonra artıq 150 keV enerjili protonların təsiri yox olur.

**Açar sözlər:** protonlarla şüalanma, qodoqraf, kompleks impedans spektrləri, relaksasiya müddəti, diffuziya əmsalı, elektrik keçiriciliyinin ion payı, vakansiya.

**PACS:** 29.20.dg, 29.27.Ac, 68.37.Ps, 78.30.-j, 61.05.Cp

### GİRİŞ

Məlum olduğu kimi ionların maddələrlə qarşılıqlı təsiri ion implantasiyası şəklində baş verir. İon implantasiyası böyük enerjili yüklü zərrəciklərin bombardman yolu ilə maddənin səthinə və həcmində daxil edilməsidir. Aşqar qatışıqlarının həll olunma həddi səbəbindən adi aşqarlama metodu ilə impedans spektrlərinə H<sup>+</sup> ionlarının (protonların) təsiri yüksək qatılıqlı qarışıqların alınmasına imkan vermir. İon implantasiyası metodu bu ionların hədəfə yeridilməsi adi aşqarlama metodu ilə alınması mümkün olmayan qarışıqların alınmasına imkan verir.

[1, 2] işlərində 150keV enerjili protonlarla şüalandırılmış TlInS<sub>2</sub> monokristalının elektrik keçiriciliyinin, dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılıqları öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, şüalanma nəticəsində TlInS<sub>2</sub> monokristalının elektrik keçiriciliyinin və dielektrik nüfuzluğunun qiymətlərində artma, relaksasiya müddətində isə azalma müşahidə olunur.

TlInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsinin dielektrik nüfuzluğu, ion keçiriciliyi, kompleks impedans spektrləri  $\gamma$ - kvantlarının 0÷0,8MGy udulma dozalarında tədqiq olunmuşdur [3]. Kompleks impedans spektrlərinin analizi göstərir ki, TlInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsində yüklərin daşınması prosesinə uyğun, diaqramda qodoqrafın yüksək tezlikli hissəsi yarım çevrə, qodoqrafın aşağı tezlikli hissəsində isə elektrodyanı oblastın həcmi yüklərin polyarizasiyasını xarakterizə edən meyilli düz xətt alınır. Həmçinin, göstərilmişdir ki, udulma dozasından asılı olaraq müqavimətin həqiqi və xəyali hissələri azalır, dielektrik nüfuzluğu və ion keçiriciliyi artır, qodoqraflar yüksək tezliklər oblastına doğru sürüşürlər. Rentgen analizinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, TlInS<sub>2</sub> (5% C)-birləşməsinin strukturu TlInS<sub>2</sub> kristalının  $a=10,96$  Å;  $b=10,97$  Å;  $c=15,14$  Å;  $\beta=100,0^\circ$ ;  $Z=64$ , fəza qrupu C 2/c. parametrlərlə monoklin strukturunu təkrar edir.

Hazırki işdə məqsəd 150keV enerjili protonların təsirinə məruz qalmış TlInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsinin otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda dielektrik, elektrik xassələri, impedans spektrləri, ion və elektron keçiriciliyi, H<sup>+</sup> ionlarının təsiri ilə meydana gələn vakansiyaların və geri təpmə atomların yaratdığı vakansiyaların dərinlikdə paylanması tədqiq etməkdir

### EKSPERİMENTİN METODİKASI

TlInS<sub>2</sub><5% C> birləşməsinin yetişdirilməsi prosesi Bricman-Stokbarger metodu ilə 1050±1.0K böyümə temperaturunda və 500±1.0K tavlama temperaturunda şaquli modernləşdirilmiş qurğuda aparılmışdır. Nümunələrin ion implantasiyası Polşanın Lublin şəhərində yerləşən Maria Curie-Sklodovska Universitetinin Fizika İnstitutunun "İon Fizikası və İmplantasiyası kafedra"sında aparılmışdır. İmplantasiya UNIMAS 79 sürətləndiricisində otaq temperaturunda və 10° dərəcə bucaq altında aparılmışdır. Elektrodlar kristalların laylarına perpendikulyar istiqamətdə qoyulmuşdur. Gümüş pasta kontakt kimi istifadə edilmişdir. Kompleks impedans spektrləri 0,1 K/dəq addımda mis-konstantan termocütdən istifadə etməklə 25÷106 Hz tezlik diapazonunda E7-12 dəyişən cərəyan körpüsü vasitəsi ölçülmüşdür.

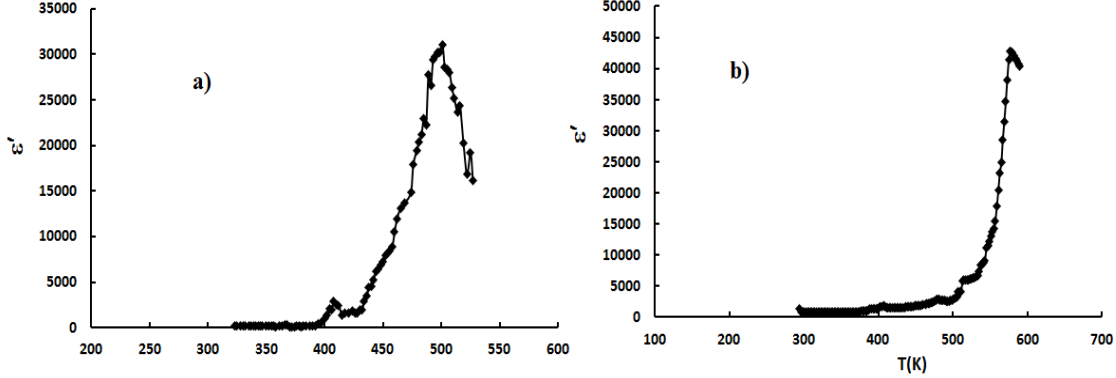
### ESPERİMENTAL NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

#### 1. H<sup>+</sup> ionlar ilə şüalanmış TlInS<sub>2</sub> <5% C > birləşməsinin dielektrik xassələri

Şəkil 1-də 150 keV enerjili protonlarla şüalandırılmış TlInS<sub>2</sub><5% C> birləşməsinin dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi protonlarla şüalandırılmış birləşmənin dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı şüalanmadan

əvvəlki asılılığın formasını təkrar edir və anomalialar yüksək temperaturlar oblastı istiqamətinə doğru sürüşür. Eyni zamanda, protonlarla şüalanmadan sonra dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti artır və nisbətən yuxarı temperaturalarda artma daha kəskin olur (şəkil 1(b)). H<sup>+</sup> ionları ilə implantasiya olunmuş TIInS<sub>2</sub> kristalının İKS spektrlərinin tədqiqatları göstərmişdir ki, In

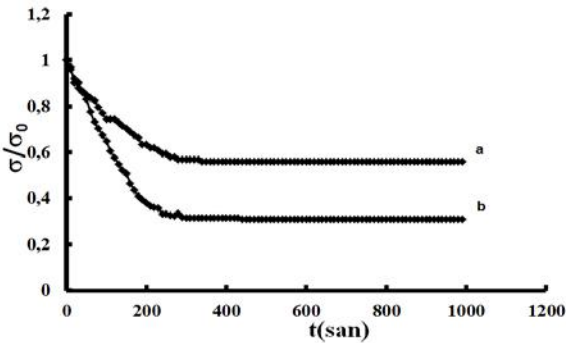
və Tl ionlarının spektrində əhəmiyyətli dərəcədə genişlənmə və kristalın səth qatında Tl tərkibində azalma müşahidə edilmişdir. Spektrlərdəki dəyişikliklər implantasiyadan sonra kristalın strukturunda amorflaşma ilə əlaqələndirilir. Göstərilmişdir ki, TIInS<sub>2</sub> kristalında H<sup>+</sup> ionlarının paylanması 1000 nm dərinlikdə müəyyən edilmişdir [2].



Şəkil 1. TIInS<sub>2</sub>(5%C) kristalının dielektrik nüfuzluğunun ε(T) temperatur asılılığı: a-şüalanmamış; b-150keV enerjili H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış.

Protonlarla şüalanma nəticəsində TIInS<sub>2</sub> <5% C> birləşməsində mobil ionların konsentrasiyasının artması hesabına dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin artması müşahidə olunur. İmplantasiya olunmuş materialda implantların qeyri-bərabər paylanması, mobil ionların konsentrasiyasının artmasına səbəb olur. Beləliklə, protonlarla implantasiya olunmuş TIInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsinin dielektrik nüfuzluğunun yüksək temperaturalarda kəskin artmasının səbəbi bu birləşmədə qeyri-bircinsliliyin yaranmasıdır.

## 2. H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış TIInS<sub>2</sub>(5% C) birləşməsinin tam keçiriciliyində elektron və ion payı.



Şəkil 2. T=550K-də, TIInS<sub>2</sub>(5%C) kristalının sabit elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılığı: a-şüalanmamış; b-150keV enerjili H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış.

Şəkil 2-də 150keV enerjili H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış TIInS<sub>2</sub>(5% C) kristalının elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılığı (sabit elektrik sahəsində və sabit temperaturalarda) verilmişdir. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi TIInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsində 150keV enerji ilə şüalanmada ümumi keçiricilikdə elektron payı azalır və nəticədə ion payı artır. TIInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsində 550K temperaturalda elektrik keçiriciliyinin ion payı şüalanmadan əv-

vəl 43,3%, 150keV enerjili protonlarla şüalanmadan sonra isə 75,5% təşkil edir.

Sabit elektrik sahəsində cərəyanın zamandan asılı olaraq aşağı düşməsi tədricəci elektrodların yaxınlığında həcmi yüklərin qarşılıqlı kompensasiyası hesabına olur. Məlum olduğu kimi, nisbi yük sıxlığının zamandan asılılığı ikinci tərtib xətti differensial tənliklə təyin olunur. Bu tənlikləri xüsusi şərtlər daxilində sadələşdirməklə relaksasiya müddətini və diffuziya əmsalını hesablamaq üçün nisbi yük sıxlığının zamandan asılılığı  $j=j_0 \exp\{-\pi^2 Dt/d^2\}$  və relaksasiya müddəti  $\tau_{SC}=d^2/(\pi^2 D)$  şəklində olacaq [4, 5, 6].

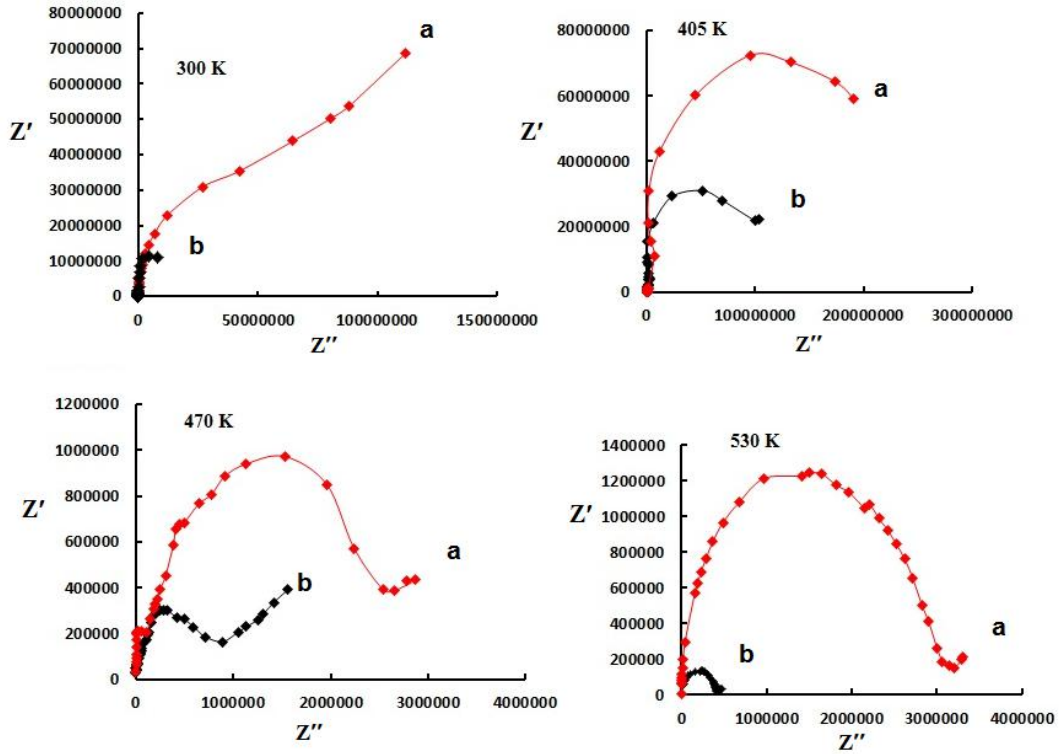
Şüalanmamış və 150keV enerjili H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış TIInS<sub>2</sub>(5% C) kristalının relaksasiya müddətini və diffuziya əmsalının hesablanmış qiymətləri aşağıdakı kimidir. Şüalanmamış halda relaksasiya müddəti  $\tau_{SC}=1728,939$ san, diffuziya əmsalı  $D=3,3 \cdot 10^{-10}$ -dur, H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış halda isə  $\tau_{SC}=853,367$ , diffuziya əmsalı  $D=6,7 \cdot 10^{-10}$ -dur. Relaksasiya müddəti  $\tau_{SC}$ , diffuziya əmsalı  $D$  üçün hesablanmış qiymətlərindən məlum olur ki, protonlarla şüalanmadan sonra diffuziya əmsalı artır və nəticədə relaksasiya müddəti azalır.

## 3. H<sup>+</sup> ionları ilə şüalanmış TIInS<sub>2</sub>(5% C) birləşməsinin kompleks impedans spektrləri

Hal-hazırda impedans spektroskopiyaya metodu bərk cisimlər fizikasında, polimerlərdə və materialşünaslıqda (həmçinin radiasiya materialşünaslığında) geniş tətbiq olunur. İmpedans spektroskopiyaya metodunun köməyi ilə nümunədə onun mikrostrukturunu nəzərə almaqla yük daşıyıcıların nəqli haqqında məlumat almaq olar. İmpedans spektroskopiyaya metodunun mahiyyəti nümunəyə kiçik sinusoidal siqnal verməklə, çıxışda alınan siqnalın öyrənilməsidir. Ona görə dəyişən elektrik sahəsinin təsiri altında gedən prosesləri aydınlaşdırmaq üçün kompleks impedansın nəticələrinin ( $Z^*=Z'+jZ''$ ) analiz olunması vacibdir.

Əvvəlki tədqiqatlarımızdan məlum olduğu kimi,  $\text{TlInS}_2 <5\% \text{C}>$  ion keçiriciliyinə malik olan birləşmələrdəndir [7-8]. İon keçiriciliyi olan birləşmələri dəyişən elektrik sahəsində öyrənəndə sərhəd effektlərinin

təsirini nəzərə almaq lazımdır (elektrod-nümunə). Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, 150keV  $\text{H}^+$  ionları ilə şüalanmış  $\text{TlInS}_2$  və  $\text{TlInS}_2 <5\% \text{C}>$  birləşmələrinin qodoqraflarını iki hissəyə ayırmaq olar.



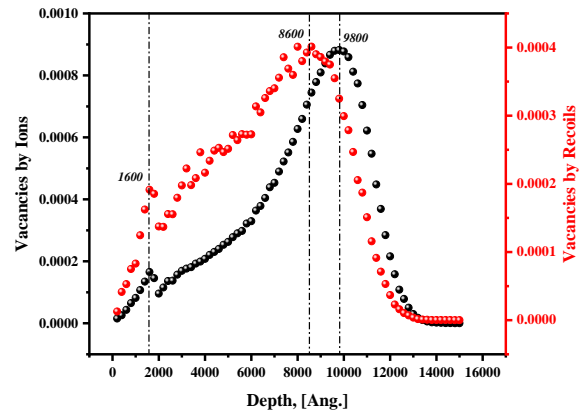
Şəkil 3. 150keV enerjili  $\text{H}^+$  ionları ilə şüalanmış  $\text{TlInS}_2$  və  $\text{TlInS}_2 <5\% \text{C}>$  birləşmələrinin impedanslarının xəyali hissələrinin həqiqi hissələrindən ( $Z'' = f(Z')$ ) asılılıqları: a-  $\text{TlInS}_2$  [1]; b-  $\text{TlInS}_2 <5\% \text{C}>$

Birinci hissə nümunəni xarakterizə edir və yarımqüvrə şəklindədir (yüksək tezlikli hissə), ikinci hissə nümunə-elektrod sərhəddini xarakterizə edir və meyilli düz xətt şəklindədir (aşağı tezlikli oblast). Həmçinin göstərilmiş ki,  $\text{H}^+$  ionları ilə şüalanmış  $\text{TlInS}_2 <5\% \text{C}>$  birləşməsinin müqavimətinin həm  $Z'$ -həqiqi, həm də  $Z''$ -xəyali hissələrinin ədədi qiymətləri, həmin enerji ilə şüalanmış  $\text{TlInS}_2$  birləşməsinə nisbətən daha kəskin azalır.

#### 4. $\text{TlInS}_2(5\% \text{C})$ birləşməsi üçün $\text{H}^+$ ionları ilə şüalanmanın modelləşdirilməsi

SRIM proqramı (The Stopping and Range of Ions in Solids-Bərk cisimlərdə ionların tormozlanması-durmaması və aralığı), ion-atom toqquşmalarının kvant mexaniki bir prosesini və implant ionlarının yaratdığı vakansiya tipli defektlərin dərinlikdə paylanmasını və ion aralığını hesablayan bir proqram qrupudur [9]. Bu işdə 150 keV enerjili  $\text{H}^+$  ionları ilə implantasiya edilmiş  $\text{TlInS}_2(5\% \text{C})$  birləşməsində vakansiyaların və  $\text{H}^+$  ionlarının dərinliyə görə təkamülü simulyasiya edilmişdir.  $\text{TlInS}_2(5\% \text{C})$  birləşməsində  $\text{H}^+$  ionlarının təsiri ilə meydana gələn vakansiyaların və geri təpmə atomlarının yaratdığı vakansiyaların dərinlikdə paylanması şəkil 4-də verilmişdir. Şəkil 4-dən görüldüyü kimi proton ionlarının yaratdığı vakansiya tipli defektlərin paylanması 980 nm dərinlikdə maksimuma çatır. Daha sonra

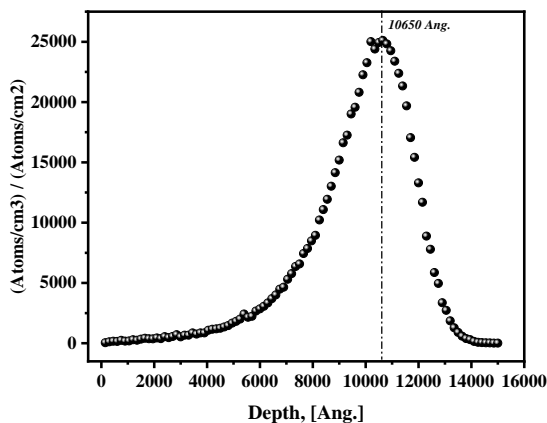
dərinliyin artması ilə azalır və 1200-1500 nm dərinlikdə homogen olaraq paylanır. 1500 nm dərinlikdən sonra artıq 150 keV enerjili protonların təsiri yox olur. Təqribən 160 nm dərinlikdə hər iki spektrdə pik müşahidə olunur.



Şəkil 4.  $\text{H}^+$  ionları ilə implantasiya olunmuş  $\text{TlInS}_2(5\% \text{C})$  birləşməsində vakansiyaların dərinlikdə paylanması

Qeyd etmək lazımdır ki, bu birləşmələr laylı birləşmələr olduğundan aşağı enerjili proton ionlarının təsiri nəticəsində interstisial tipli defektlərin yaranma ehtimalını artırır. Şəkil 5-də proton ionlarının dərinlikdə paylanması simulyasiya edilmişdir. Müəyyən dərinlik-

lərdə enerji itkisi materialın atomları ilə əhəmiyyətli qarşılıqlı təsirlərə səbəb ola bilər ki, bu da boş yerlərin yaranmasına səbəb olur [10].



Şəkil 5. 150 keV enerjili H<sup>+</sup> ionlarının dərinlikdə paylanması.

160 və 980 nm dərinlikdə müşahidə edilən maksimumlar, implantasiya edilmiş protonların enerjisinin əhəmiyyətli bir hissəsini itirməsi ehtimalı olan bölgəni göstərə bilər ki, bu da boşluqların yaranmasına səbəb olur. Digər tərəfdən geri tərən proton ionlarının yaratdığı vakansiyaların dərinlikdə paylanma profilinin genişlənməsinin səbəbi çox güman implant ionlarının material daxilində yavaşdıqca, onların trayektoriyaları qəfəsdəki atomlarla qarşılıqlı təsir səbəbindən daha qeyri-sabit olmasıdır [2]. 980 nm dərinlikdə qüsurların konsentrasiyası maksimuma çatır.

Nəticələr göstərir ki, 150 keV enerjili protonlar nümunə daxilində təqribən 400-1400 nm dərinlik aralığında paylanır. 1mkm dərinlikdə maksimuma çatır.

Bu işdə təxminən 1 µm-də baş verən proton ionlarının dərinlik paylanmasında maksimum, implantasiya edilmiş ionların TIInS<sub>2</sub>(5%C) yarımqeçirici birləşməsində ən yüksək konsentrasiyasına çatdığı dərinliyi göstərir. Bu dərinlikdən kənarda, implantasiya edilmiş ionların konsentrasiyası materialın dərinliyinə keçdikcə azalır, atomlarla qarşılıqlı təsir nəticəsində dayanana kimi enerji itirir.

Beləliklə, şüalanmamış və 150 keV enerjili protonlarla şüalanmış TIInS<sub>2</sub><5%C> birləşməsinin sabit elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmiş, onun ion və elektron payları, relaksasiya müddəti -  $\tau$  və diffuziya əmsalı -  $D$  təyin olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, protonlarla şüalanmadan sonra, uyğun olaraq keçiriciliyin elektron payı, relaksasiya müddəti azalır və diffuziya əmsalının qiymətləri isə artır. Ekvivalent sxem metodundan istifadə etməklə kompleks impedans spektrlərinin analizi göstərir ki, bu kristalda yüklərin daşınması prosesinə uyğun, diaqramda yarımqəvrə alınır (qodoqrafın yüksək tezlikli hissəsi). Qodoqrafın aşağı tezlikli hissəsində isə, elektrodyanı oblastın həcmi yüklərin polarizasiyasını xarakterizə edən meylli düz xətt uyğun gəlir. Göstərilmişdir ki, protonlarla şüalanmış halda qodoqraflar yüksək tezliklər oblastına doğru sürüşürlər. Qodoqrafa uyğun olaraq ekvivalent sxem təklif edilmişdir. Həmçinin göstərilmişdir ki, TIInS<sub>2</sub> (5% C) birləşməsində H<sup>+</sup> ionlarının təsiri ilə meydana gələn vakansiyaların və geri tərən atomların yaratdığı vakansiyaların dərinlikdə paylanması 980 nm dərinlikdə maksimuma çataraq dərinliyin artması ilə azalır və 1500 nm dərinlikdən sonra, artıq 150 keV enerjili protonların təsiri yox olur.

- [1] S.F. Samadov, O.A. Samedov, O.Z. Alekperov, M. Kulik, A.L. Najafov, N.M. Mehdiyev, E.M.Huseynov. Dielectric and electrical properties of near-surface layers of TIInS<sub>2</sub> crystals under the proton irradiation. International Journal of Modern Physics B, 2019, Vol. 33, № 27, 1950320.
- [2] М. Кулик, С.Ф. Самедов, О.А.Самедов, О.З.Алекперов, Д. Колодынска, А.Олеинчак, Н.М. Мехтиев. Исследование оптических и электрических свойств кристалла TIInS<sub>2</sub> после имплантации ионами водорода и гелия. Journal of Radiation Researches, Baku, 2018, vol.5, № 2, с. 62-66
- [3] О.Ә. Сәтәдов, Х.В. Орусова, А.İ. Нәсәфов, N.M. Mehdiyev, V.Ә.Qasimov, R.N.Mehdiyeva, S.F. Samedov, M.N. Mirzayev, T.İ. Kərimova. Qamma şüalarının təsirinə məruz qalmış TIInS<sub>2</sub> (5 at% C) kristalının dielektrik, elektrik xassələri və ion keçiriciliyi. Xəbərlər. 2024. (çapda)
- [4] В.Н.Чеботин. Химическая диффузия в твердых телах. НАУКА. М., 1989, 200 с.
- [5] А. Лидьярд. Ионная проводимость кристаллов, ИИЛ, М., 1992, 222с.
- [6] Ионная проводимость и процессы объемно-зарядовой поляризации в кристаллах Li<sub>2</sub>Ge<sub>7</sub>O<sub>15</sub>. ФТТ, 2012, том 54, вып. 3, 470-475.
- [7] O.A. Samedov, O.Z. Alekperov, Kh.B. Orudjova, N.M. Mehtiyev, A.I. Nadjafov, I.A. Gabulov, E.M. Huseynov. Electrical impedance investigation of gamma-irradiated TIInS<sub>2</sub> (5% C) crystals. International Journal of Modern Physics B 2021, v.35, № 1, p. 2150009.
- [8] O.A. Samedov, O.Z. Alekperov, Kh. B. Orujova, A.İ. Nadjafov, E.M. Huseynov, S.F. Samedov, İ.A. Gabulov, N.M. Mekhtiyev. Dielectric permittivity and relaxation process investigation of C-doped TIInS<sub>2</sub> crystals. Modern Physics Letters, B 2021, v.35, № 20, p. 2150325.
- [9] J.F. Ziegler and J.P. Biersack. (Pergaman Press, New York, 1985), p. 375
- [10] Sh.B. Utamuradova, Sh.Kh. Daliev, D.A.Rakhmanov, S.F. Samadov, A.S. Doroshkevich. Investigation of radiation defect formation of irradiated n-Si<Pt>. Advanced Physical Research. Vol.5, № 3, 2023, pp.183-191

**O.A. Samadov, Kh.B. Orujova, N.M. Mehdiyev, A.I. Najafov,  
R.N. Mehdiyeva, S.F. Samadov, M.N. Mirzeyev, T.I. Kerimova**

**EFFECT OF H<sup>+</sup> IONS (PROTONS) ON DIELECTRIC PERMITTIVITY, IONIC AND ELECTRONIC CONDUCTIVITY AND IMPEDANCE SPECTRA OF TlInS<sub>2</sub> <5% C> COMPOUND**

The electrical conductivity of the TlInS<sub>2</sub> <5% C> compound exposed to 150 keV protons was studied in a constant electric field; its ion and electron shares, relaxation time  $\tau$ , and diffusion coefficient  $D$  were determined. After being exposed to protons, it was demonstrated that the electron share and relaxation time decreased while the diffusion coefficient values and the ion share of the conductivity increased. The analysis of complex impedance spectra reveals that the low-frequency region of the hodograph corresponds to the inclined straight line characterizing the polarization of volume charges in the near-electrode region, and when exposed to protons, the hodographs shift to the high-frequency region. It was also shown that the depth distribution of vacancies formed by the effect of H<sup>+</sup> ions and vacancies created by recoil atoms in the TlInS<sub>2</sub> (5% C) compound reaches a maximum at a depth of 980 nm and diminishes with increasing depth, and after a depth of 1500 nm, the effect of protons with an energy of 150 keV disappears.

**O.A. Самедов, X.Б. Оруджова, Н.М. Мехтиев, А.И. Наджафов,  
Р.Н. Мехтиева, С.Ф. Самедов, М.Н. Мирзоев, Т.И. Керимова**

**ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИОНОВ (ПРОТОНОВ) H<sup>+</sup> НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ, ИОННУЮ И ЭЛЕКТРОННУЮ ПРОВОДИМОСТЬ И ИМПЕДАНСНЫЕ СПЕКТРЫ СОЕДИНЕНИЯ TlInS<sub>2</sub> <5%> C**

В постоянном электрическом поле исследована электрическая проводимость соединения TlInS<sub>2</sub> <5%> C, облученного протонами с энергией 150 кэВ, определены его ионные и электронные доли, время релаксации  $\tau$  и коэффициент диффузии  $D$ . Показано, что после облучения протонами, соответственно, уменьшается электронная доля проводимости, время релаксации, а ионная доля проводимости, значения коэффициента диффузии увеличиваются. Анализ спектров комплексного импеданса показывает, что на низкочастотную часть годографа соответствует наклонной прямой, характеризующей поляризацию объемных зарядов вблизи электрода в области, а при облучении протонами годографы скользят к высокочастотной области. Показано также, что в соединении TlInS<sub>2</sub> (5% C) распределение по глубине вакансий, возникшие под влиянием ионами H<sup>+</sup> и вакансий, созданных атомами обратной отдачи, достигая до максимума на глубине 980 нм, уменьшается с увеличением глубины, а после глубины 1500 нм влияние протонов с энергией 150 кэВ уже исчезает.

*Qəbul olunma tarixi: 30.04.2024*